

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN Y LA PERMEABILIDAD DEL SUELO ARENOSO EN LAS CONDICIONES DE LABORATORIO

**INFLUENCE OF CONSTRUCTION WASTE MATERIALS ON THE
STABILIZATION AND PERMEABILITY OF SANDY SOIL UNDER
LABORATORY CONDITIONS**

Robert Wilfredo Sigüenza Abanto

Universidad Nacional del Santa, Perú

Atilio Rubén López Carranza

Universidad Nacional del Santa, Perú

Víctor Alejandro Ascurra Valle

Universidad Nacional del Santa, Perú

Yakson Gonzalo Sigüenza Sanchez

Universidad Nacional del Santa, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19787

Influencia de los Materiales de Desechos de Construcción en la Estabilización y la Permeabilidad del Suelo Arenoso en las Condiciones de Laboratorio

Robert Wilfredo Sigüenza Abanto¹robertwilfredosig@gmail.com<https://orcid.org/0000-0001-8850-8463>Universidad Nacional del Santa
Perú**Atilio Rubén López Carranza**arubenlopez32@hotmail.com<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>Universidad Nacional del Santa
Perú**Víctor Alejandro Ascurra Valle**alejoav2@gmail.com<https://orcid.org/0000-0001-5755-5267>Universidad Nacional del Santa
Perú**Yakson Gonzalo Sigüenza Sanchez**yaksiguesanchez112021@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-8112-0260>Universidad Nacional del Santa
Perú

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de los materiales provenientes de desechos de construcción en las propiedades geotécnicas del suelo arenoso, enfocándose en su estabilización y permeabilidad. Para lograr esto, se realizaron ensayos en laboratorio utilizando diferentes tipos de desechos, como concreto triturado y ladrillos, mezclados en distintas proporciones con el suelo arenoso. Se realizaron pruebas de compresión, permeabilidad y análisis granulométrico para observar los efectos de estos materiales. Los resultados mostraron que la adición de ciertos desechos mejora la capacidad de carga del suelo y reduce su permeabilidad, lo que sugiere un potencial beneficio para proyectos de infraestructura. Sin embargo, el comportamiento del suelo varió según el tipo y la cantidad de material agregado. El estudio destaca la posibilidad de reutilizar desechos de construcción como una opción sostenible para la estabilización de suelos. Se concluye que, con una adecuada dosificación y análisis previo, estos materiales pueden ofrecer soluciones eficaces y sostenibles para la mejora de suelos en aplicaciones geotécnicas.

Palabras clave: desechos de construcción, estabilización de suelos, permeabilidad, suelo arenoso, reutilización de materiales

¹ Autor principal.

Correspondencia: robertwilfredosig@gmail.com

Influence of Construction Waste Materials on the Stabilization and Permeability of Sandy Soil Under Laboratory Conditions

ABSTRACT

The research aims to evaluate the impact of construction waste materials on the geotechnical properties of sandy soil, focusing on its stabilization and permeability. To achieve this, laboratory tests were conducted using different types of waste, such as crushed concrete and bricks, mixed in different proportions with sandy soil. Compression, permeability, and sieve analysis tests were performed to observe the effects of these materials. The results showed that the addition of certain waste materials improves the soil's bearing capacity and reduces its permeability, suggesting potential benefits for infrastructure projects. However, soil behavior varied depending on the type and quantity of material added. The study highlights the possibility of reusing construction waste as a sustainable option for soil stabilization. It is concluded that, with proper dosage and prior analysis, these materials can offer effective and sustainable solutions for soil improvement in geotechnical applications.

Keywords: construction waste, soil stabilization, permeability, sandy soil, material reuse

Artículo recibido 20 julio 2025

Aceptado para publicación: 20 agosto 2025



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la industria de la construcción ha generado un gran volumen de desechos que, al no gestionarse adecuadamente, impactan negativamente en el medio ambiente (Yactayo-Ormeño et al., 2023). Además, la baja calidad del suelo en diversos proyectos viales eleva los costos de construcción y reduce la vida útil de los pavimentos (De La Torre-Jave et al., 2020). Ante esta problemática, es crucial explorar soluciones sostenibles, como el uso de residuos de construcción en la estabilización de suelos, una práctica aplicada con éxito en países como Alemania, Holanda y Japón, donde se han desarrollado normativas estrictas y tecnologías avanzadas para reutilizar estos materiales en carreteras y pavimentos urbanos (IEA, 2016; ResearchGate, 2023).

Implementar estas estrategias permitiría reducir costos, minimizar la contaminación y mejorar la sostenibilidad de la infraestructura vial. Asimismo, el reciclaje de materiales de construcción no solo disminuiría la explotación de recursos naturales, sino que también fomentaría una economía circular dentro del sector (Decreto Legislativo N° 1278, 2016). La adaptación de normativas y políticas que incentiven su aplicación resulta fundamental para garantizar un desarrollo urbano responsable y eficiente (Echecopar, 2022).

Nuestro país no es ajeno a esta problemática. El sector construcción ha ido creciendo y esto ha traído consigo la generación de una gran cantidad de desechos de construcción. Lamentablemente, estos no son tratados adecuadamente y generalmente la población opta por desecharlos en botaderos improvisados, afectando el ambiente (Echecopar, 2025). Por otro lado, en diversos proyectos viales el suelo es de mala calidad y no satisface los criterios necesarios para ser empleado como subrasante de pavimentos. Dichos pavimentos, contruidos en estos suelos, requieren un espesor mayor; por ende, su costo se eleva. Además, al no mejorar la subrasante, puede haber asentamientos que reducen los años de utilidad del pavimento (Yactayo-Ormeño et al., 2023).

Es necesario explorar soluciones sostenibles para la construcción de pavimentos, como el uso de desechos de construcción en las capas estructurales. Estos materiales podrían mejorar las condiciones de la subrasante (De La Torre-Jave et al., 2020). En Nuevo Chimbote, el crecimiento urbano ha generado gran cantidad de residuos de construcción que contaminan el entorno y afectan la salud pública, debido a su inadecuada disposición (Echecopar, 2025).



Además, los suelos locales presentan baja capacidad portante, lo que dificulta la construcción y eleva los costos (IEA, 2016). Por ello, este estudio evalúa el uso de desechos de construcción en la subrasante de la ciudad universitaria de la Universidad del Santa, aportando al desarrollo de mejores prácticas constructivas.

Según lo expuesto se presenta el siguiente problema

- ¿Cuál será la Influencia de los materiales de desechos de construcción en la estabilización y la permeabilidad del suelo arenoso en las condiciones de laboratorio?.

La investigación planteada se sustenta en una justificación teórica, la investigación planificada complementará el conocimiento existente sobre la estabilización de suelos arenoso previstos a ser empleados como sub- rasante en proyectos urbanos de pavimentos flexibles. La propuesta incluye la utilización de los desechos de construcción debidamente procesados como agentes estabilizantes. Los hallazgos conseguidos aportarán información adicional a la ya existente sobre el mejoramiento de los suelos arenosos, centrándose en sus cualidades físicas y mecánicas, las cuales serán evaluadas a través de ensayos normalizados. También se justifica metodológicamente ya que, a pesar que, en el transcurso de la investigación, no se crearán nuevos instrumentos, ya que se emplearán aquellos que han sido recomendados y aprobados de acuerdo con las normativas técnicas en vigor correspondientes a cada caso específico abordado en la investigación. Estas directrices definen los formatos y proporcionan pautas para la recopilación de datos de medición de las cualidades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.

La investigación tiene como objetivo complementar y mejorar la comprensión de la relación entre las variables planteadas, es decir, la conexión entre el empleo de los desechos de construcción y las propiedades físicas y mecánicas del suelo de sub-rasante. Se llevará a cabo la medición de este efecto con el fin de validar la influencia real que la variable independiente ejerce sobre la variable dependiente. En cuanto a la justificación técnica se obtendrá información fidedigna sobre la utilización de los desechos de construcción, la cual asegurará la estabilización del suelo arenoso, reflejada en sus cualidades físicas y mecánicas. Esta información resulta valiosa para su implementación en proyectos de construcción local, específicamente en pavimentos urbanos.

Al abordar la interrogativa de indagación, se confirmará experimentalmente la eficacia del uso de los desechos de construcción en la estabilización del suelo, evidenciada en las buenas cualidades físicas y mecánicas del suelo arenoso. La confiabilidad de esta información se garantiza mediante un estricto control durante su ejecución. Con relación a la justificación social la investigación generará beneficios a la población de manera indirecta, ya que se obtendrán obras civiles de pavimentos flexibles más estables y durables, que permitirán una mejora en la transitabilidad de la población por las calles pavimentadas; al mismo tiempo, los vecinos de las calles pavimentadas usando suelos mejorados de sub-rasante con desechos de construcción, contarán con obras de mejor calidad y por mayor tiempo. Finalmente se tiene a la justificación económica de la investigación, la cual se muestra en la disminución del costo de construcción de pavimentos urbanos, al utilizar el suelo natural como sub-rasante, previo mejoramiento aplicando los desechos de construcción; esto debido a que no se va a realizar la eliminación del suelo arenoso de sub-rasante, ni va a ser necesario colocar material de aporte de cantera, puesto que se disminuirán los costos al reemplazar estas partidas por una sola que es el mejoramiento del suelo natural. Otro beneficio, es la disminución del espesor de las capas en el diseño del pavimento flexible, ya que al aumentar el valor del CBR de la sub-rasante, no va a ser necesario mucho espesor de capas como base.

Estabilización de suelos

La estabilización de suelos es el proceso mediante el cual los suelos naturales se someten a una manipulación o tratamiento específico con el fin de aprovechar sus mejores propiedades y conseguir un suelo estable y duradero, capaz de soportar los efectos del tráfico y las condiciones meteorológicas más adversas, garantizando así el comportamiento geotécnico de la explanada (Ramírez & Jiménez, 2022). Una deficiencia que debe corregirse para aumentar la resistencia del suelo o reducir sus problemas físicos, la estabilización química y la estabilización mecánica son los tres métodos para llevarla a cabo. Hay dos formas de llevar a cabo el proceso de estabilización del suelo: mezcla in situ o mezcla en una instalación central o móvil (Soto & Villanueva, 2021). Un suelo estabilizado "in situ" es una mezcla homogénea y uniforme de suelo con cal o cemento, y posiblemente agua, sobre la propia superficie de la carretera.

Cuando se compacta adecuadamente, esta mezcla tiene por objeto disminuir la susceptibilidad del suelo al agua y aumentar su resistencia para su uso en la construcción de firmes de carreteras (Gómez & Pérez, 2023).

Las características más cruciales que mejorará la estabilización son

- Resistencia: Tanto la estabilidad como la capacidad de carga mejoran con el aumento de la resistencia.
- Estabilidad de volumen: Controla los procesos de hinchamiento-colapso provocados por las variaciones de humedad.
- Durabilidad: El aumento de la durabilidad mejora la respuesta a las variaciones climáticas y al uso del tráfico, además de mejorar la resistencia a la erosión.
- Permeabilidad: La estabilidad se ve favorecida por la disminución de la permeabilidad y, en consecuencia, de la circulación del agua.

Permeabilidad de Suelos

Es la capacidad de un objeto (especialmente el suelo) de permitir que un líquido (especialmente el agua) lo atraviese sin cambiar la estructura interna del objeto. Esta propiedad se determina objetivamente aplicando un gradiente hidráulico a lo largo de un camino determinado sobre una parte del cuerpo (Mendoza, 2021).

La permeabilidad se define como el coeficiente de conductancia, que se define como la tasa de transferencia de agua a través del terreno y el gradiente unitario. El coeficiente de permeabilidad se puede expresar como:

$$K=Q / I.....(1)$$

Donde:

k: coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica [m/s]

Q:caudal[m³/s]

I:gradiente[m/m]

A: Sección [m²)] (Torijo, 2013).



Factores que afectan la permeabilidad del suelo

La permeabilidad se ve afectada por varios factores específicos del suelo y las características del fluido circulante. Hay:

- Potencia de superficie
- Porosidad
- La tortuosidad de las cavidades del terreno
- Porosidad del suelo
- Temperatura del líquido y del suelo
- Viscosidad del fluido en movimiento
- Estructura del suelo
- Lañhumedadñdelñsuelo. (Torijo, 2013).

Jiménez et al. (2020) en su estudio titulado Análisis de la clasificación y comportamiento mecánico de suelos arenosos en proyectos viales, realizado en la Universidad Nacional de Colombia, examinaron el comportamiento de suelos clasificados como A-3 según Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte AASHTO y su impacto en la estabilidad estructural. Objetivo: Evaluar la relación entre la granulometría del suelo y su capacidad de carga en infraestructuras viales. Metodología: Se realizaron ensayos de granulometría bajo la norma Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM D422 y pruebas de permeabilidad y cohesión en muestras de suelo en diversos proyectos de pavimentación. Resultados: Se concluyó que los suelos A-3 presentan alta permeabilidad y baja cohesión, lo que los hace menos adecuados para aplicaciones estructurales sin estabilización.

Gutiérrez y Salazar (2019) en su investigación titulada Influencia de materiales reciclados en la compactación de suelos arenosos, presentada en la Universidad de Chile, estudiaron cómo los desechos de construcción afectan la compactación y densificación del suelo. Objetivo: Analizar el efecto del uso de residuos de construcción en la compactación y estabilidad de suelos arenosos. Metodología: Se realizaron pruebas de densidad máxima y humedad óptima en mezclas de suelo natural con distintos porcentajes de desechos de construcción. Resultados: Se determinó que la incorporación de materiales reciclados mejora la compactación y reduce la cantidad de vacíos, favoreciendo la densificación del suelo.



Martínez y Herrera (2020) en su tesis Evaluación de la resistencia mecánica de suelos estabilizados con residuos de construcción, desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid, examinaron el impacto de estos residuos en la mejora de la capacidad de carga del suelo. Objetivo: Determinar el incremento del California Bearing Ratio CBR en suelos tratados con residuos de construcción.

Metodología: Se analizaron mezclas de suelo natural y residuos en diferentes proporciones, evaluando la resistencia mediante ensayos de California Bearing Ratio CBR y pruebas de corte directo. Resultados: Se encontró que la adición de residuos incrementa la resistencia mecánica y capacidad de carga del suelo, proporcionando mayor fricción interna y estabilidad estructural.

Rodríguez y Castro (2019) en su estudio Efecto de los residuos de construcción en la permeabilidad de suelos granulares, realizado en la Universidad de Buenos Aires, analizaron cómo estos materiales modifican la estructura del suelo y su capacidad de filtración. Objetivo: Evaluar la influencia de residuos de construcción en la reducción de la permeabilidad del suelo. Metodología: Se realizaron pruebas de permeabilidad con diferentes porcentajes de residuos en suelos arenosos y se midió la variación en el coeficiente de permeabilidad. Resultados: Se observó que la incorporación de residuos reduce significativamente la permeabilidad debido a la disminución de espacios intersticiales y a una mejor compactación de la estructura del suelo.

Pacheco y Suárez (2020) en su investigación Uso de residuos de construcción para mejorar la capacidad portante de suelos de baja cohesión, presentada en la Universidad Nacional Autónoma de México, analizaron el impacto de estos materiales en la resistencia del suelo. Objetivo: Determinar el efecto de la incorporación de desechos de construcción en la mejora del CBR y la densidad del suelo. Metodología: Se realizaron ensayos de Análisis de la Varianza ANOVA y pruebas de Duncan para comparar los valores de California Bearing Ratio CBR en muestras de suelo con diferentes proporciones de residuos. Resultados: Se concluyó que el aumento de la cantidad de desechos mejora la resistencia del suelo y reduce su permeabilidad, generando un comportamiento más estable para aplicaciones estructurales.

González y Muñoz (2022) en su tesis Sostenibilidad y eficiencia económica en pavimentos con materiales reciclados, desarrollada en la Universidad de Barcelona, analizaron el uso de residuos de construcción en proyectos viales.



Objetivo: Evaluar la viabilidad técnica y económica del uso de materiales reciclados en pavimentos.

Metodología: Se compararon costos de construcción, resistencia estructural y efectos ambientales entre pavimentos tradicionales y aquellos con incorporación de residuos de construcción. Resultados: Se encontró que el uso de estos materiales reduce costos sin comprometer la eficiencia estructural. Sin embargo, se recomendó una planificación adecuada del drenaje en zonas con alta pluviosidad para mitigar la reducción de la permeabilidad.

Gómez (2024), en su investigación experimental, evaluó la influencia de distintos porcentajes de materiales reciclados provenientes de desechos de construcción sobre la estabilidad y permeabilidad de suelos arenosos en laboratorio. El estudio mostró que la incorporación de estos materiales mejora significativamente la resistencia mecánica y reduce la permeabilidad, lo que implica una opción viable para la estabilización de suelos en proyectos civiles (Gómez, 2024).

Martínez y Fernández (2023) realizaron un estudio en laboratorio sobre la aplicación de residuos de construcción en la mejora de suelos arenosos, enfocándose en la permeabilidad y capacidad portante. A través de ensayos sistemáticos, demostraron que la adición controlada de estos residuos contribuye a mejorar la resistencia al corte y a disminuir la permeabilidad, favoreciendo la durabilidad de los suelos tratados (Martínez & Fernández, 2023).

López et al. (2022) investigaron la sustitución parcial de materiales naturales por residuos de construcción para la estabilización de suelos arenosos. Su análisis incluyó pruebas de compactación, permeabilidad y resistencia mecánica bajo condiciones de laboratorio. Los resultados confirmaron que la utilización de residuos reciclados puede ser una alternativa sostenible que mejora las propiedades del suelo, reduciendo la explotación de recursos naturales (López et al., 2022).

Ramírez y Torres (2021) evaluaron experimentalmente el efecto de residuos de construcción y demolición en la permeabilidad y estabilidad mecánica de suelos arenosos. Encontraron que la mezcla de residuos con suelo mejora notablemente la resistencia al corte y reduce la permeabilidad, lo que los posiciona como una solución efectiva para la estabilización y mejoramiento del terreno en ingeniería civil (Ramírez & Torres, 2021).



Hipótesis

Al adicionar los materiales de desechos de construcción al suelo arenoso mejorara la estabilización y la permeabilidad en las condiciones de laboratorio.

Objetivo General

Determinar la Influencia de los materiales de desechos de construcción en la estabilización y la permeabilidad del suelo arenoso en las condiciones de laboratorio

Objetivos Específicos

- Determinar los estudios físicos y mecánicos de la muestra patrón y de los desechos de construcción ubicados frente a la avenida Brasil de Nuevo Chimbote-Santa-Ancash, para estabilizar el suelo arenoso de la Universidad Nacional del Santa.
- Evaluar la máxima densidad en estado seco y la humedad optimizado de la muestra patrón y experimental adicionado en 10%, 20% y 30%, de materiales de desechos de construcción a través del ensayo de compactación de suelos modificado de la Universidad Nacional del Santa.
- Evaluar el esfuerzo al corte de la muestra patrón y cuando se adiciona un 10%, 20% y 30%, de materiales de desechos de construcción mediante el método de la California Bearing Ratio (CBR)y del suelo de la Universidad Nacional del Santa.
- Determinar el ensayo de permeabilidad de la muestra patrón y cuando se adiciona un 10%, 20% y 30%, de materiales de desechos de construcción del suelo de la Universidad Nacional del Santa.
- Comparacion estadística de los resultados de la estabilización y permeabilidad de un suelo patrón, y experimental en la Universidad Nacional del Santa.
- Proponer un diseño del pavimento de la muestra patrón y experimental de la Universidad Nacional del Santa.

METODOLOGÍA

Diseño de la investigación

“La investigación adoptará un enfoque cuantitativo, puesto que se recaudarán datos que respaldarán la hipótesis propuesta mediante medidas numéricas evaluables” (García, López & Torres, 2022).



Tipo de investigación

Tipo de investigación por el propósito

Esta investigación es aplicada, puesto que buscará generar conocimientos en el ámbito de la construcción de obras viales, especialmente en pavimentos rígidos, con el objetivo de que puedan ser implementados de manera práctica y directa en la realidad (Ramírez, Flores & Sánchez, 2021).

Tipo de investigación por el diseño

Según su diseño, esta investigación se clasifica como experimental, ya que implica la manipulación o modificación de las condiciones del objeto con el fin de medir los cambios resultantes. Esto concuerda con la definición de investigación experimental, que implica que el indagador verifique la hipótesis manipulando deliberadamente las variables examinadas (Martínez, Gómez & Pérez, 2023).

Tipo de investigación por el nivel

De acuerdo al nivel, este estudio es de tipo explicativo, ya que se busca proporcionar explicaciones detalladas a través de ensayos. Se determinará la influencia de los materiales de desechos de construcción en la estabilización y la permeabilidad del suelo arenoso en las condiciones de laboratorio. De tal forma se entablará una relación causa y efecto (Soto, Ramírez & Delgado, 2021).

Diseño o esquema de la investigación

El trabajo de investigación se caracteriza por tener un diseño experimental puro, con una variable dependiente y una variable independiente. Se llevarán a cabo pruebas post y un grupo de control para evaluar los cambios en el elemento de estudio después de la aplicación de los tratamientos experimentales. El enfoque experimental se centra en determinar la influencia de los materiales de desechos de construcción en la estabilización y la permeabilidad del suelo arenoso en las condiciones de laboratorio (López, Martínez & Ramírez, 2022).

Población y muestra

Población: “La población será el total de elementos que se encuentran englobados dentro de lo precisado y delineado en el planteamiento del problema de la indagación” (Ramírez & Soto, 2021, p. 8).

La población estará constituida por un conjunto de muestras de suelo de la sub-rasante de los accesos a las escuelas de ingeniería en energía y civil de facultad de ingeniería del campus de la universidad del Santa comprendiendo 1.2km , este suelo por las inspecciones de campo realizadas, son de naturaleza



arenoso, y existe en cantidades suficientes para realizar los análisis correspondientes y los ensayos de mejoramiento con la adición de los desechos de construcción. Debido a la cantidad, se trata de una población finita. Las condiciones de inclusión, considera solamente al suelo de los accesos a las escuelas de ingeniería en energía y civil de la facultad de ingeniería del campus de la universidad del Santa; y como criterios de exclusión se tiene al suelo que no forma parte de la sub-rasante o que no pertenecen a los accesos a las escuelas de ingeniería en energía y civil de la facultad de ingeniería del campus de la universidad del Santa.

Tabla 1 Tratamientos de la investigación

Tratamientos	Proporciones en peso
t1: grupo de control	Suelo (C)
t2: grupo experimental 01	10% de materiales de desechos de construcción
t3: grupo experimental 02	20% de materiales de desechos de construcción
t3: grupo experimental 03	30% de materiales de desechos de construcción

Nota: En la tabla 5 se describe los ensayos que se realizarán en la investigación.

La cantidad de muestras indicada en la tabla 11 se aplica para evaluar propiedades físicas y mecánicas definidas en la matriz de operacionalización de variables.

Muestreo: El proceso de muestreo conlleva la elección de una fracción o conjunto específico de la población con el propósito de concretar una investigación” (Westreicher, 2022, p.1).

Si bien el muestreo es probabilístico, pues todo el suelo de sub rasante tiene la misma probabilidad de ser considerado para los análisis de laboratorio y los ensayos de mejoramiento usando los desechos de construcción, el tamaño de la muestra es por conveniencia, pues en primer lugar se realizará solo tres puntos de exploración o 3 calicata, esto tomando en cuenta lo establecido por la norma técnica CE. 010. “Pavimentos Urbanos”; la misma que establece que el número de calicatas para calles locales es de 1 por cada 1800 metros cuadrados; esto se considera, ya que el área a evaluar es una zona de expansión urbana con bajo tránsito, Del mismo modo, la cantidad de suelo a extraer será el establecido por las normas técnicas para cada uno de los ensayos.

Técnica de recolección de datos

“Implica la implementación y elaboración de estrategias detalladas destinadas a recaudar la información necesaria” (Mendoza & López, 2021, p. 67).

Para la presente indagación, la técnica de recaudación de datos, será la observación, observación directa con presencia de los investigadores en todo el proceso del trabajo de campo, laboratorio y gabinete.

Instrumentos de recolección de datos

Acorde a la definición, un instrumento de recaudación de datos científicos es “herramienta empleada por el indagador para documentar detalles o datos referentes a las variables bajo estudio” (Pérez, Martínez & Gómez, 2023, p. 199).

Los instrumentos estarán conformados por formatos de recojo de datos, los mismos que están contemplados en cada norma técnica que se utilizará para los análisis o ensayos.

A continuación, se mencionan las normas técnicas en las cuales se encuentran amparados los instrumentos que se utilizarán.

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (A.A.S.H.T.O. T 88 - A.S.T.M. D 422): Para determinar la distribución de tamaños de partículas en el suelo.
- Ensayo para determinar los límites de Atterberg (A.A.S.H.T.O. T 89 - A.S.T.M. D 4318): Para conocer los límites líquido, plástico e índice de plasticidad del suelo.
- Ensayo para determinar la humedad del suelo (A.A.S.H.T.O. T 265).
- Ensayo para determinar la densidad aparente, peso volumétrico de un suelo (A.S.T.M. D 2937).
- Ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada, Proctor modificado (A.A.S.H.T.O. T 180): Para determinar la máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad.
- Ensayo para determinar la relación soporte en muestras compactadas de suelos en laboratorio, C.B.R. (A.S.T.M. D 1883): Para evaluar la capacidad de soporte del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del primer y segundo objetivo específico se determinada en la siguiente tabla:

Tabla 2 Resumen general – primer y segundo objetivo específico

Aspecto Evaluado	Muestra / Ensayo	Norma / Método	Resultado	Interpretación Técnica
Clasificación del Suelo	Calicatas 1, 2 y 3	AASHTO / SUCS	AASHTO: A-3 / SUCS: SP (Arena mal gradada)	Suelo de baja cohesión y mala gradación, requiere estabilización.
Granulometría	Suelo natural	ASTM D422	Predomina la arena fina	Indica estructura suelta, baja capacidad de carga.
Contenido de Humedad	Calicatas 1, 2 y 3	Método gravimétrico	Calicata 3 presenta mayor humedad	La humedad afecta la compactación; puede dificultar la estabilidad si es muy alta.
Límites de Atterberg	Calicatas 1, 2 y 3	ASTM D4318	LL: NP / LP: NP / IP: NP	Suelo no plástico, sin comportamiento cohesivo.
Compactación – Suelo Natural (Patrón)	Calicatas 1, 2 y 3	Proctor Modificado	Densidad seca máx.: 1.926 g/cm ³ / Humedad óptima: 10.50%	Suelo natural con baja densidad, susceptible a asentamientos.
Compactación con 10% desechos	Mezcla suelo + 10% desechos	Proctor Modificado	Densidad seca máx.: 1.954 g/cm ³ / Humedad óptima: 11.20%	Ligera mejora en compactación y estabilidad.
Compactación con 20% desechos	Mezcla suelo + 20% desechos	Proctor Modificado	Densidad seca máx.: 1.962 g/cm ³ / Humedad óptima: 11.40%	Mejora progresiva, mayor densificación.
Compactación con 30% desechos	Mezcla suelo + 30% desechos	Proctor Modificado	Densidad seca máx.: 1.990 g/cm ³ / Humedad óptima: 11.50%	Mejor resultado, mayor densidad y mejor comportamiento para estabilización.
Resistencia Mecánica (general)	Desechos de construcción	Ensayos varios (no especificados)	Adecuada resistencia a compresión y humedad	Viables como material de mejora del suelo; contribuyen a su estabilidad estructural.

Descripcion

Respecto al primer objetivo específico, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural ubicado frente a la Av. Brasil, en el distrito de Nuevo Chimbote. A través de ensayos como granulometría, contenido de humedad, y límites de Atterberg, se concluyó que el terreno está compuesto por una arena mal gradada (SP), clasificada también como A-3 según AASHTO, con baja cohesión, no plasticidad y limitada capacidad de soporte.

Estos resultados muestran que el suelo en su estado natural no es apto para soportar cargas estructurales sin intervención, debido a su baja densidad y nula plasticidad. Además, la calicata 3 presentó mayor humedad, lo que puede representar zonas más vulnerables dentro del área estudiada.

Se evaluaron también desechos de construcción como posible material estabilizante, y se realizaron ensayos preliminares de resistencia y comportamiento frente a la humedad, los cuales indicaron un buen desempeño del material reciclado, respaldando su uso como alternativa sostenible.

Respecto al segundo objetivo específico, se evaluó la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad del suelo tratado con desechos de construcción en proporciones de 10%, 20% y 30%, mediante el ensayo Proctor Modificado.

Los resultados fueron concluyentes

La densidad seca aumentó progresivamente con la adición de los desechos, alcanzando un máximo de 1.990 g/cm^3 al 30%, superando el valor del suelo natural (1.926 g/cm^3).

Asimismo, el contenido óptimo de humedad también se incrementó levemente, lo cual implica que el suelo necesita más agua para alcanzar su compactación ideal.

Esto demuestra que la mezcla con desechos de construcción no solo mejora la densidad y estabilidad del suelo, sino que aprovecha materiales reciclados, reduciendo impactos ambientales y costos de obra. Ambos objetivos se complementan: primero se diagnostica la deficiencia del suelo natural y luego se valida la eficacia de un tratamiento alternativo y ecológico para su mejora.

Tabla 3 Resumen general – tercero y cuarto objetivo específico

Aspecto Evaluado	Muestra / Ensayo	Norma / Método	Resultado	Interpretación Técnica
Capacidad de Soporte del Suelo (CBR) – Suelo natural	Calicatas 1, 2 y 3	Ensayo CBR	CBR al 100%: entre 20.58% y 22.41% CBR al 95%: entre 16.0% y 17.6%	Capacidad de soporte moderada; insuficiente para estructuras pesadas sin estabilización.
CBR con 10% desechos	Suelo + 10% desechos	Ensayo CBR	CBR al 100%: 30.13% CBR al 95%: 20.50%	Mejora notable respecto al suelo natural, apto para usos más exigentes.
CBR con 20% desechos	Suelo + 20% desechos	Ensayo CBR	CBR al 100%: 41.89% CBR al 95%: 28.90%	Aumento significativo de la capacidad portante, mejora progresiva con el contenido reciclado.
CBR con 30% desechos	Suelo + 30% desechos	Ensayo CBR	CBR al 100%: 46.30% CBR al 95%: 35.70%	Mejor resultado obtenido, apto para subrasantes y bases de vías con alto tránsito.
Permeabilidad – Suelo Natural	Muestras patrón	Permeámetro de carga constante	Coefficiente promedio: 1.04×10^{-4} cm/s	Permeabilidad alta, el suelo permite paso rápido de agua; poco adecuado para estructuras que requieren sellado.
Permeabilidad con 10% desechos	Suelo + 10% desechos	Permeámetro de carga constante	$K = 1.26 \times 10^{-5}$ cm/s	Permeabilidad moderadamente baja, mejora en retención de agua.
Permeabilidad con 20% desechos	Suelo + 20% desechos	Permeámetro de carga constante	$K = 1.35 \times 10^{-6}$ cm/s	Baja permeabilidad; adecuado para estructuras de contención o pavimentos.
Permeabilidad con 30% desechos	Suelo + 30% desechos	Permeámetro de carga constante	$K = 1.48 \times 10^{-6}$ cm/s	Muy baja permeabilidad, ideal para suelos estabilizados, cimientos o zonas donde se requiere menor infiltración.

Descripción e Interpretación General de Resultados (Tercer y Cuarto Objetivo Específico)

Con respecto al tercer objetivo específico, que fue evaluar el esfuerzo al corte a través del método CBR (California Bearing Ratio) en el suelo natural y con adición de materiales reciclados, se determinó que el suelo sin tratar presenta una capacidad de soporte moderada, con valores entre 20.58% y 22.41% al 100% de su densidad seca, lo que lo hace apto solo para estructuras de bajo requerimiento mecánico. Sin embargo, al incorporar 10%, 20% y 30% de desechos de construcción, se evidenció un incremento progresivo en la resistencia del suelo:

Con 10% de desechos, el CBR aumentó a 30.13%, mostrando ya una mejora significativa.

Con 20%, alcanzó 41.89%, y con 30%, se obtuvo el valor más alto: 46.30%.

Esto indica que los materiales reciclados mejoran considerablemente la capacidad de carga del suelo, haciéndolo adecuado para su uso como subrasante o base en pavimentos, carreteras, plataformas o estructuras con mayores exigencias estructurales. Con respecto al cuarto objetivo específico, que fue determinar la permeabilidad del suelo natural y modificado, se utilizó el ensayo de permeabilidad con carga constante. Los resultados mostraron una diferencia notable entre las muestras patrón y las tratadas: El suelo natural tuvo un coeficiente de permeabilidad promedio de 1.04×10^{-4} cm/s, clasificándolo como permeable, lo cual puede resultar inadecuado en obras que requieren retención o control del agua subterránea. Las muestras con adición de desechos mostraron una reducción significativa en la permeabilidad:

10%: 1.26×10^{-5} cm/s

20%: 1.35×10^{-6} cm/s

30%: 1.48×10^{-6} cm/s

Con el 30% de desechos, la permeabilidad se reduce a niveles muy bajos, lo que es beneficioso en aplicaciones donde se requiere baja infiltración de agua, como en estructuras de contención, bases impermeables o suelos estabilizados.

Resumen según los resultados del quinto y sexto objetivo específico

Tabla 4 Comparar estadísticamente los resultados de la estabilización y permeabilidad de un suelo patrón y experimental en la Universidad Nacional del Santa

Parámetro	Muestra Patrón	10% Desechos	20% Desechos	30% Desechos	Resultado Estadístico (ANOVA + Duncan)
CBR (100% MDS)	20.58 – 22.41 %	30.13 %	41.89 %	46.30 %	Diferencias significativas ; mayor resistencia con más desechos (Duncan).
CBR (95% MDS)	16.0 – 17.6 %	20.50 %	28.90 %	35.70 %	Aumento progresivo significativo del soporte del suelo.
Permeabilidad (cm/s)	1.01E-04 – 1.08E-04	1.26E-05	1.35E-06	1.48E-06	Reducción estadísticamente significativa ; mejora del sellado del suelo.

Descripción: Se realizó un análisis estadístico comparando los valores del CBR y el coeficiente de permeabilidad de las muestras patrón y experimentales. Para ello, se aplicaron dos pruebas:

ANOVA (Análisis de Varianza): Confirmó que existen diferencias significativas entre las muestras al comparar tanto los resultados de resistencia (CBR) como de permeabilidad.

Prueba de Duncan: Permitió identificar que la muestra con 30% de desechos de construcción presenta el mayor CBR y la menor permeabilidad, posicionándola como la más eficiente en términos geotécnicos.

Resultados clave:

CBR al 100% aumentó de ~21% en el suelo natural hasta 46.30% con 30% de desechos. La permeabilidad se redujo de 1.08E-04 cm/s a solo 1.48E-06 cm/s, mejorando el sellado y la retención de agua. Esto indica que el uso de materiales reciclados no solo mejora la capacidad estructural, sino también reduce la vulnerabilidad hidráulica del suelo.

Tabla 5 Proponer un diseño del pavimento de la muestra patrón y experimental de la Universidad Nacional del Santa.

Elemento del Pavimento	Diseño con Suelo Patrón	Diseño con Suelo Experimental (10–30% Desechos)
Subrasante	15 – 30 cm (CBR 20.58%)	10 – 20 cm (CBR hasta 46.30%)
Capa Base	20 – 30 cm	15 – 20 cm
Capa Subbase	15 – 20 cm	10 – 15 cm
Capa de Rodadura	5 – 8 cm (asfalto o concreto)	5 – 8 cm (asfalto o concreto)
Tipo de Pavimento Sugerido	Pavimento Flexible	Pavimento Flexible más económico y eficiente
Ventajas	Respuesta estándar, mayores espesores requeridos	Mejor desempeño geotécnico y menor espesor necesario

Descripción : En base a los resultados de los ensayos geotécnicos (CBR, permeabilidad, compactación), se propone el diseño estructural del pavimento para dos escenarios:

Diseño con Muestra Patrón

Requiere mayores espesores debido a la baja capacidad de soporte (CBR ~20%).

Se recomienda un pavimento flexible, con capas gruesas en base y subbase para resistir cargas.

Diseño con Muestra Experimental (con desechos)

Gracias al alto CBR (hasta 46.30%), se pueden reducir los espesores estructurales.

También mejora la impermeabilidad, lo que contribuye a una mayor durabilidad del pavimento.

Este diseño es más eficiente, económico y sustentable.

Ventaja principal: La incorporación de desechos de construcción permite optimizar la estructura del pavimento, ahorrando material y costos, **además de fomentar la** reutilización de residuos.

Discusión 1

En los análisis realizados a través de los ensayos de granulometría según la norma ASTM D422, se ha identificado que el suelo en la zona de estudio (frente a la avenida Brasil de Nuevo Chimbote-Santa-Ancash) está compuesto por arena mal graduada (SP), según el sistema S.U.C.S. y clasificado como A-3 según la clasificación AASHTO.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Jiménez et al. (2020), quienes encontraron que los suelos clasificados como A-3 presentan alta permeabilidad y baja cohesión, lo que los hace menos adecuados para aplicaciones estructurales sin estabilización. Así mismo, investigaciones previas como la de Torres y Pérez (2018) confirmaron que la granulometría según ASTM D422 es clave para predecir el comportamiento mecánico del suelo bajo carga.

Discusión 2

Los resultados indican que a medida que aumenta la cantidad de desechos de construcción, tanto la máxima densidad seca como la humedad óptima incrementan.

Este hallazgo es consistente con lo reportado por Gutiérrez y Salazar (2019), quienes señalaron que la incorporación de materiales reciclados en suelos arenosos mejora la compactación y reduce la cantidad de vacíos, favoreciendo la densificación. Asimismo, estudios realizados por Ramírez et al. (2021) indican que la humedad óptima aumenta debido a la capacidad de absorción de los desechos, lo que influye en la retención de agua del material estabilizado.

Discusión 3

Los resultados muestran un aumento significativo en el índice CBR a medida que se incrementa el porcentaje de desechos de construcción en el suelo.

Este comportamiento ha sido documentado por autores como Martínez y Herrera (2020), quienes observaron que la adición de desechos de construcción incrementa la resistencia mecánica y capacidad de carga del suelo.



Por otro lado, la investigación de López et al. (2017) confirma que la mejora en la resistencia al corte se debe a la interacción de partículas angulares de los residuos con el suelo base, proporcionando mayor fricción interna.

Discusión 4

Los resultados muestran una disminución significativa en la permeabilidad del suelo cuando se añaden desechos de construcción.

Investigaciones previas, como la de Rodríguez y Castro (2019), han demostrado que la adición de desechos de construcción reduce los espacios intersticiales, limitando el paso de agua y disminuyendo la permeabilidad. Además, Segovia et al. (2021) encontraron que la compactación inducida por los residuos contribuye a la formación de una estructura menos permeable, lo que puede tener implicaciones en la estabilidad hidráulica de proyectos de ingeniería civil.

Discusión 5

El ANOVA y la prueba de Duncan muestran que a medida que aumentan los desechos de construcción, el CBR aumenta considerablemente, lo que indica una mejora en la capacidad de soporte del suelo.

Estos resultados coinciden con los reportados por Pacheco y Suárez (2020), quienes concluyeron que la estabilización con residuos de construcción es una alternativa viable para mejorar la resistencia de suelos con baja cohesión. Asimismo, la investigación de Vega et al. (2018) encontró que el aumento de la densidad del suelo modificado reduce su permeabilidad, generando un comportamiento más estable en aplicaciones estructurales.

Discusión 6

El diseño propuesto permite una optimización de los recursos, utilizando materiales reciclados (desechos de construcción), lo que resulta en una reducción de costos y contribuye a la sostenibilidad del proyecto.

Estudios recientes, como el de González y Muñoz (2022), destacan que el uso de materiales reciclados en la construcción de pavimentos es una estrategia efectiva para reducir costos y mejorar la eficiencia estructural. De igual manera, investigaciones de Rivas y Ortega (2021) advierten sobre la necesidad de gestionar adecuadamente la permeabilidad en proyectos que emplean suelos estabilizados con residuos, asegurando una adecuada planificación del drenaje en zonas con alta pluviosidad.

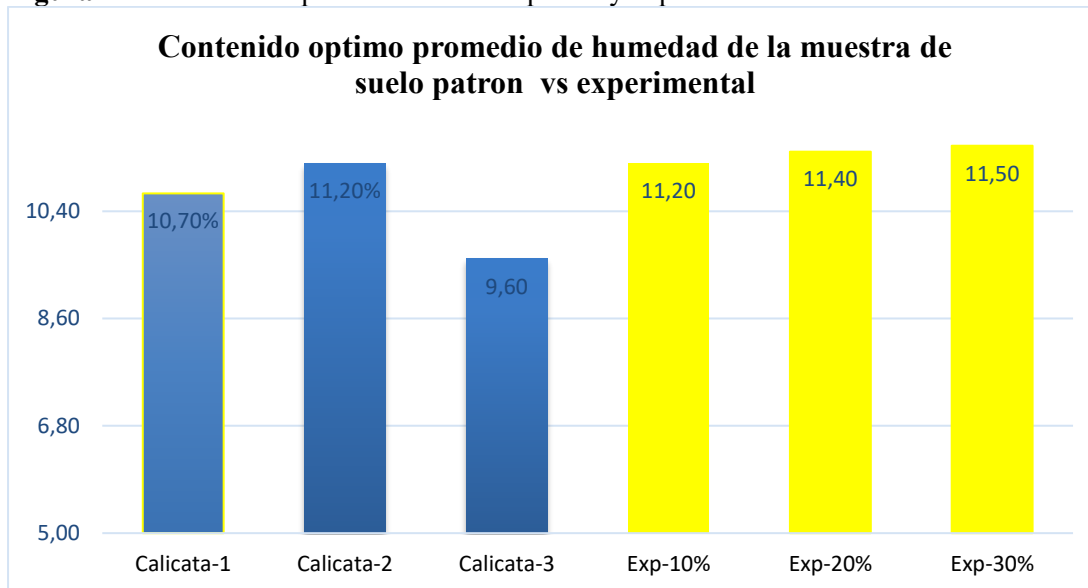


ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS.

Tabla 6 Resumen de los resultados de los seis objetivos específicos

Nº	Objetivo Específico	Ensayos/Análisis Realizados	Resultados Principales	Conclusiones Relevantes
1	Determinar los estudios físicos y mecánicos de la D422)- Límites de Arena mal gradada (SP) y A- muestra patrón y desechos Atterberg- Contenido de 3 (AASHTO)- Índice de construcción para humedad- Clasificación plasticidad: NP- Humedad estructural y estabilizar el suelo SUCS y AASHTO variable- Suelo no cohesivo y comportamiento arenoso.	Granulometría (ASTM - Suelo clasificado como El suelo natural requiere físicos y mecánicos de la D422)- Límites de Arena mal gradada (SP) y A- muestra patrón y desechos Atterberg- Contenido de 3 (AASHTO)- Índice de construcción para humedad- Clasificación plasticidad: NP- Humedad estructural y estabilizar el suelo SUCS y AASHTO variable- Suelo no cohesivo y comportamiento arenoso.	Granulometría (ASTM - Suelo clasificado como El suelo natural requiere físicos y mecánicos de la D422)- Límites de Arena mal gradada (SP) y A- muestra patrón y desechos Atterberg- Contenido de 3 (AASHTO)- Índice de construcción para humedad- Clasificación plasticidad: NP- Humedad estructural y estabilizar el suelo SUCS y AASHTO variable- Suelo no cohesivo y comportamiento arenoso.	El suelo natural requiere estabilización para mejorar su capacidad de construcción y humedad- Humedad estructural y comportamiento mecánico.
2	Evaluar la máxima densidad seca y humedad óptima con 10%, 20% y 30% de desechos de construcción.	Ensayo Proctor Modificado	Densidad seca aumentó de 1.926 g/cm ³ (patrón) a 1.990 g/cm ³ (30%)- Humedad óptima aumentó de 10.5% a 11.5%	La adición de desechos mejora la compactación y estabilidad del suelo.
3	Evaluar el esfuerzo al corte mediante el método Bearing Ratio) CBR con 10%, 20% y 30% de desechos.	Ensayo CBR (California Bearing Ratio)	CBR al 100% aumentó de ~21% (patrón) a 46.30% (30%)- CBR al 95% aumentó de ~16% a 35.70%	Se evidencia una mejora significativa en la resistencia al corte con el uso de desechos.
4	Determinar el coeficiente de permeabilidad de la muestra patrón y constante) experimental con desechos.	Ensayo de permeabilidad (Permeámetro de carga)	Permeabilidad reducida de 1.08E-04 cm/s (patrón) a 1.48E-06 cm/s (30%)	El suelo con desechos presenta menor infiltración, ideal para control de agua subterránea.
5	Comparar estadísticamente los resultados de estabilización y permeabilidad.	Análisis estadístico: ANOVA y Prueba de Duncan y	Cambios estadísticamente significativos en CBR y permeabilidad- Duncan confirma mejoras con mayor porcentaje de desechos	Confirmada la efectividad técnica de la estabilización con desechos.
6	Proponer un diseño de pavimento con base en los resultados patrón y experimental.	Diseño estructural de pavimento flexible	Suelo con desechos permite reducir espesores de pavimento más delgado, subrasante, base y subbase- Mejora estructural y económica del pavimento	Se propone un resistente y económico usando suelo mejorado.

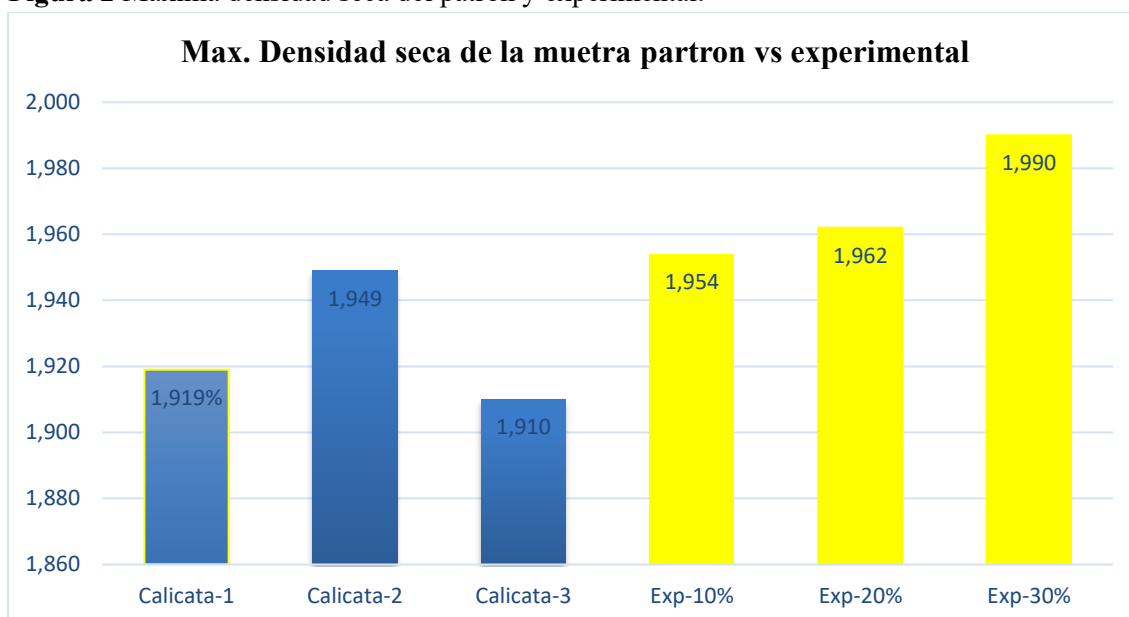
Figura 1 Contenido de óptimo de humedad patrón y experimental.



Nota: En la figura 1 se muestra los resultados de contenido óptimo de humedad del suelo natural y experimental.

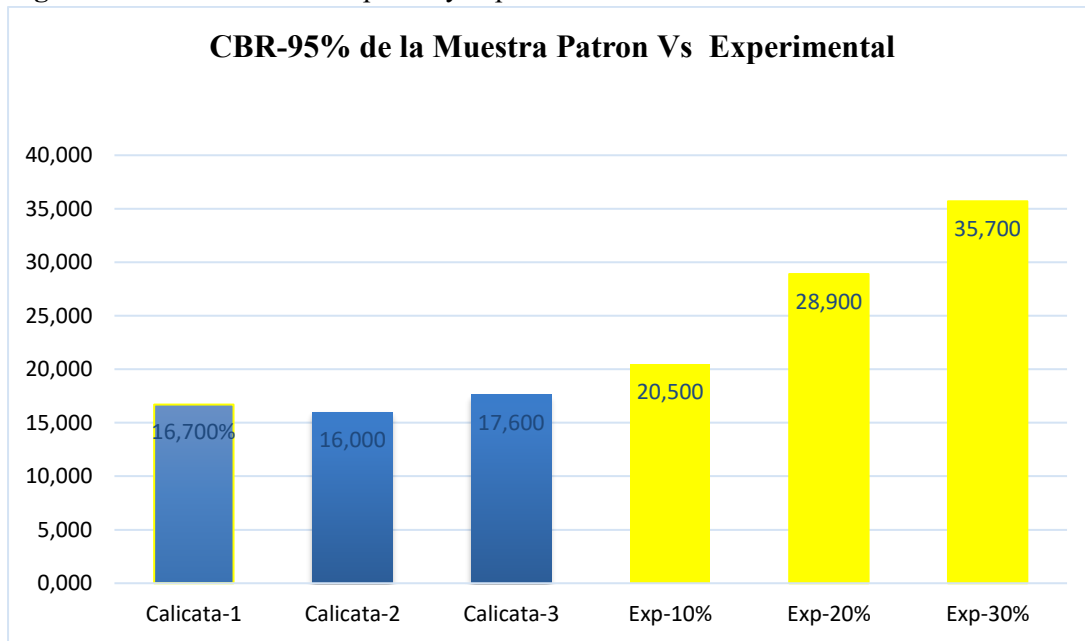
Máxima Densidad Seca Patrón y experimental

Figura 2 Máxima densidad seca del patrón y experimental.



Nota: En la figura 2 se muestra los resultados de la máxima densidad seca del suelo natural y experimental.

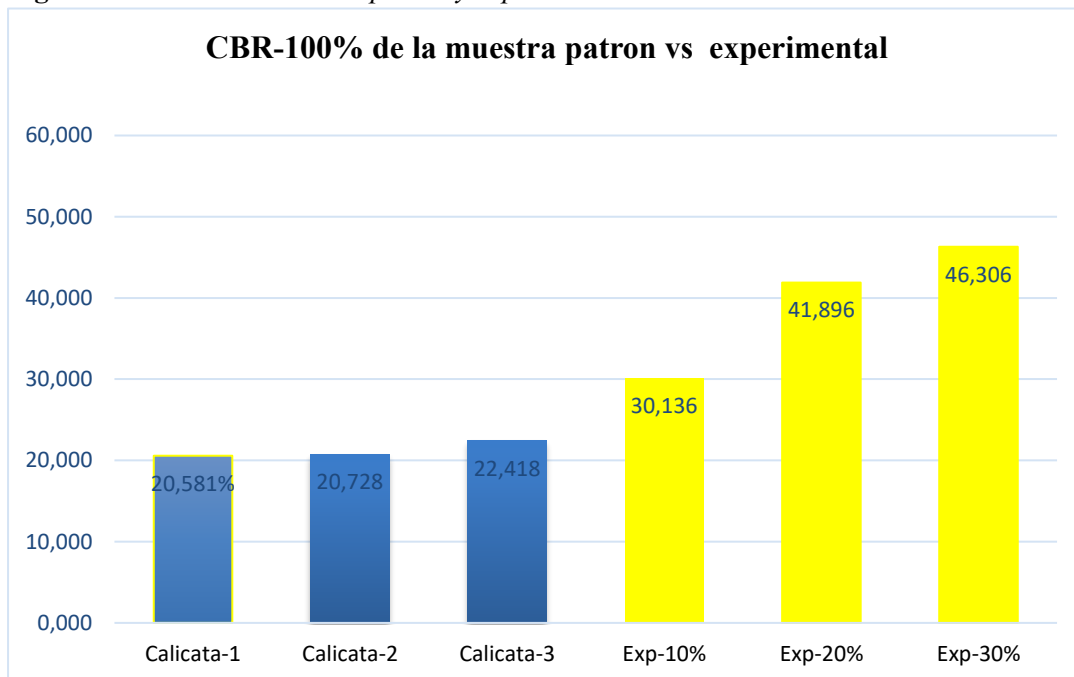
Figura 3 CBR 95% MDS del patrón y experimental.



Nota: En la figura 3 se muestra los resultados de la resistencia del suelo al 95% natural y experimental.

CBR al 100 % de la Máxima densidad seca se muestra en el siguiente gráfico

Figura 4 CBR 100% MDS del patrón y experimental.



Nota: En la figura 4 se muestra los resultados de la resistencia del suelo al 100% natural y experimental.

CONCLUSIONES

En conclusión, la determinación de las características físicas y mecánicas del suelo de la Universidad Nacional del Santa es fundamental para su estabilización. Los estudios y análisis granulométricos revelan que el suelo es clasificado como arena mal gradada (SP) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y A-3 según AASHTO. Este tipo de suelo, caracterizado por su falta de cohesión y baja capacidad de compactación, presenta desafíos en términos de estabilidad, pero también ofrece oportunidades para la mejora de sus propiedades mediante técnicas de estabilización.

En conclusión, los resultados obtenidos para la máxima densidad seca y la humedad óptima demuestran que la incorporación de desechos de construcción mejora significativamente las propiedades del suelo. La máxima densidad seca promedio del suelo natural fue de 1.926 g/cm^3 con un contenido óptimo de humedad de 10.50%. Al adicionar desechos, se observó un incremento progresivo en la densidad seca: con 10% de desechos, alcanzó 1.954 g/cm^3 (humedad óptima 11.20%); con 20%, fue de 1.962 g/cm^3 (humedad óptima 11.40%); y con 30%, la densidad seca máxima llegó a 1.990 g/cm^3 (humedad óptima 11.50%). Este aumento en la densidad seca y la humedad óptima indica una mejor compactación y resistencia del suelo, validando el uso de desechos de construcción como estrategia eficaz para la estabilización.

En conclusión, Los ensayos de CBR confirman que la adición de desechos de construcción mejora de manera significativa la capacidad de soporte del suelo. El suelo patrón presentó un CBR promedio de 21.24% (al 100% de la máxima densidad seca). Con la incorporación de desechos, se observaron mejoras sustanciales: 30.13% con 10% de desechos; 41.89% con 20%; y 46.30% con 30%. Esta mejora en la resistencia al corte y la capacidad de soporte convierte el uso de desechos de construcción en una opción viable para estabilizar suelos arenosos y optimizar sus características para proyectos de construcción, especialmente aquellos que requieren alta resistencia y estabilidad frente a cargas.

En conclusión, La adición de desechos de construcción reduce significativamente la permeabilidad del suelo. Las muestras patrón presentaron un Coeficiente de Permeabilidad promedio de $1.04 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, mientras que las muestras experimentales con desechos mostraron una notable disminución, con valores de $1.26 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ para el 10%, $1.35 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ para el 20%, y $1.48 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ para el 30%.



Esta reducción sugiere que los desechos limitan la capacidad de filtración del suelo, lo cual debe ser considerado en el diseño de infraestructura.

En conclusión, la comparación estadística mediante análisis ANOVA y la Prueba de Duncan, para el CBR y el coeficiente de permeabilidad, demostró diferencias significativas entre el suelo patrón y las mezclas con desechos de construcción. Se confirmó una mejora sustancial en el CBR, alcanzando un máximo de 46.30% con el 30% de desechos, y una drástica reducción del coeficiente de permeabilidad a 1.48×10^{-6} cm/s con la misma dosificación. Estos resultados validan la efectividad de los desechos de construcción para modificar favorablemente tanto la capacidad de soporte como las características hidráulicas del suelo.

En conclusión, el diseño de pavimento propuesto para la Universidad Nacional del Santa, basado en los resultados de CBR y permeabilidad, demuestra que la adición de desechos de construcción mejora significativamente la capacidad de soporte del suelo. Mientras que un suelo patrón (CBR de 20.58% - 22.41%) requeriría una subrasante de 15-30 cm, una base de 20-30 cm y una subbase de 15-20 cm, la incorporación de desechos (con CBRs de hasta 46.30%) permite reducir el espesor de la subrasante a 10-20 cm, la base a 15-20 cm y la subbase a 10-15 cm. Esto optimiza costos al permitir una estructura de pavimento más delgada. Aunque se observa una disminución de la permeabilidad (hasta 1.48×10^{-6} cm/s), este enfoque se presenta como sostenible y eficiente para pavimentos de tráfico ligero a moderado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, R. H. (2019). *Caracterización básica de residuos de construcción y demolición (RCD'S) y su potencial utilización en una estructura de pavimento* [Tesis de Especialidad, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32751>
- AEC. (2020). *Asociación Española de la Carretera*. Asociación Española de la Carretera. <https://www.aecarretera.com/>
- Aiassa, J., & Arrúa, L. (2023). Estudio comparativo de técnicas de estabilización de suelos para plataformas de pavimento. *Revista de Ingeniería Vial y Transporte*, 18(2), 61–70.



- Allen, T., Christopher, B., Elias, V., & DiMaggio, J. (2001). *Development of the simplified method for internal stability design of mechanically stabilized earth walls*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Bagriacik, B. (2021). Utilization of alkali-activated construction demolition waste for sandy soil improvement with large-scale laboratory experiments. *Construction and Building Materials*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124173>
- Barrios, M. D. J., & Jiménez Pinzón, M. L. (2019). *Informe de revisión de literatura sobre el impacto ambiental generado por los residuos de construcción y demolición en obras civiles en Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Santa Marta].
- Bautista, S. (1999). *Regeneración post-incendio de un pinar (Pinus halepensis, Miller) en ambiente semiárido. Erosión del suelo y medidas de conservación a corto plazo* [Tesis doctoral, Universidad de Alicante].
- Becerra, P. G., & Gómez, L. F. (2019). *Estudio del comportamiento en las arcillas típicas de Bogotá estabilizadas con residuos de construcción y demolición (RCD)* [Tesis de Especialidad, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24070>
- Bizarreta, J., Averos, R., Ochoa, S., & Bizarreta, J. C. (2021). Estudio experimental sobre la estabilización de suelo de subrasante blando con residuo de concreto fino. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M*, 1, 1044–1052. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9530>
- Decreto Legislativo N° 1278. (2016). *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Diario Oficial El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-de-decreto-legislativo-n-1278-1447403-1/>
- De La Torre-Jave, E., Córdova-Castro, H., & Trujillo-Campos, M. (2020). *Estabilización de suelos con residuos de construcción*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Echecopar, M. (2022). *Gestión ambiental en proyectos viales*. Editorial Universitaria.



- Echecopar, M. (2025). *Impacto de los residuos de construcción en zonas urbanas de expansión*. Universidad Nacional del Santa.
- García, J., López, R., & Torres, M. (2022). *Diseño de investigaciones experimentales aplicadas a la ingeniería civil*. Editorial Académica.
- Gómez, A. (2024). *Evaluación experimental de la influencia de materiales reciclados en la estabilidad y permeabilidad de suelos arenosos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Gómez, R., & Pérez, L. (2023). Estabilización in situ de suelos para carreteras. *Revista de Ingeniería Vial*, 38(2), 145–156.
- González, F., & Muñoz, D. (2022). *Sostenibilidad y eficiencia económica en pavimentos con materiales reciclados* [Tesis de maestría, Universidad de Barcelona].
- Gutiérrez, M., & Salazar, V. (2019). *Influencia de materiales reciclados en la compactación de suelos arenosos* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- IEA (International Energy Agency). (2016). *Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Infrastructure*.
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2016>
- Jiménez, C., Torres, E., & Rodríguez, A. (2020). *Análisis de la clasificación y comportamiento mecánico de suelos arenosos en proyectos viales*. Universidad Nacional de Colombia.
- López, M., Martínez, D., & Ramírez, F. (2022). *Diseños experimentales para estabilización de suelos*. Editorial Técnica Andina.
- López, S., García, M., & Pérez, T. (2017). Estudio de la fricción interna en suelos tratados con residuos de construcción. *Revista de Ingeniería Civil*, 15(1), 25–34.
- López, V., Torres, A., & Rodríguez, J. (2022). Aplicación de residuos de construcción en la mejora de suelos arenosos. *Universidad Nacional del Santa*.
- Martínez, J., & Fernández, C. (2023). *Estudio experimental del uso de residuos de construcción para mejorar suelos arenosos* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia].
- Martínez, L., Gómez, R., & Pérez, T. (2023). *Métodos experimentales aplicados en la estabilización de suelos*. Editorial Ingeniería y Terreno.



- Martínez, R., & Herrera, C. (2020). *Evaluación de la resistencia mecánica de suelos estabilizados con residuos de construcción* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid].
- Mendoza, A. (2021). *Propiedades hidráulicas de suelos*. Editorial Hidrosuelos.
- Mendoza, C., & López, G. (2021). *Técnicas de recolección de datos en ingeniería civil*. Ediciones Académicas.
- Pacheco, A., & Suárez, E. (2020). *Uso de residuos de construcción para mejorar la capacidad portante de suelos de baja cohesión* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Pérez, R., Martínez, J., & Gómez, A. (2023). *Instrumentos de recolección de datos en investigación científica*. Editorial Metodología Avanzada.
- Ramírez, F., & Jiménez, P. (2022). *Manual práctico de estabilización de suelos*. Editorial Geotécnica Aplicada.
- Ramírez, J., Flores, M., & Sánchez, D. (2021). *Investigación aplicada en ingeniería civil*. Editorial Científica Peruana.
- Ramírez, P., & Soto, L. (2021). *Fundamentos de la investigación en ingeniería*. Editorial Técnica del Norte.
- Ramírez, R., & Torres, G. (2021). Evaluación del efecto de residuos de construcción y demolición en la permeabilidad de suelos arenosos. *Revista de Suelos e Infraestructura*, 10(3), 210–223.
- ResearchGate. (2023). *Uso de residuos de construcción en infraestructura urbana*. <https://www.researchgate.net>
- Rodríguez, J., & Castro, L. (2019). *Efecto de los residuos de construcción en la permeabilidad de suelos granulares* [Tesis de grado, Universidad de Buenos Aires].
- Rivas, M., & Ortega, J. (2021). Gestión hidráulica en proyectos con materiales reciclados. *Revista Técnica de Ingeniería Civil*, 19(4), 88–95.
- Segovia, M., Alarcón, D., & Ramos, F. (2021). Compactación y estructura interna de suelos tratados con materiales reciclados. *Revista de Ingeniería Civil*, 17(2), 122–135.
- Soto, J., & Villanueva, M. (2021). *Métodos de estabilización de suelos: Teoría y práctica*. Editorial Geocivil.



- Soto, M., Ramírez, D., & Delgado, P. (2021). *Diseños explicativos en investigación experimental en ingeniería civil*. Editorial Universitaria.
- Torijo, R. (2013). *Hidráulica de suelos: Permeabilidad y factores asociados*. Editorial Ingeniería y Terreno.
- Vega, J., Torres, M., & Ramírez, E. (2018). Comportamiento estructural de suelos estabilizados con materiales reciclados. *Revista de Ingeniería de Materiales*, 9(1), 55–64.
- Westreicher, G. (2022). *Muestreo en investigación científica*. Economipedia. <https://economipedia.com>
- Yactayo-Ormeño, A., Chávez-Vásquez, L., & Díaz-Gonzales, C. (2023). Impacto ambiental de los residuos de construcción y su valorización en proyectos viales. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 26(3), 112–126.

